

NANOTECNOLOGÍA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA. NANOPARTÍCULAS USADAS EN LA CONSERVACIÓN DE LA CARNE

NANOTECHNOLOGY IN THE FOOD INDUSTRY: NANOPARTICLES USED IN MEAT CONSERVATION

Cruz-Monterrosa, R.G.*; Reséndiz-Cruz, V.; Landa-Salgado, P.; Jiménez-Guzmán, J.; Díaz-Ramírez, M.; Miranda-De La Loma, G.; Rayas-Amor, A.A.; García-Garibay J.M.

Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Lerma. Estado de México. Calle de las Garzas No. 10, El panteón, 52005 Lerma de Villada, México.

***Autor de correspondencia:** r.cruz@correo.ler.uam.mx

RESUMEN

Uno de los principales retos de la industria de la carne es garantizar la sanidad, inocuidad y conservación. Las innovaciones tecnológicas se centran en el uso de inoculantes que detectan o protegen la carne contra agentes patógenos. Las nanopartículas incorporadas a los empaques de la carne actúan como antimicrobianos y antioxidantes, representando una nueva generación en los envasados. Los iones de plata, cobre, oro, zinc, óxidos de metal (TiO_2 , ZnO , MgO), nanoarcillas, biopolímeros naturales, enzimas y agentes antimicrobianos sintéticos son los productos más investigados. Sin embargo, su legislación no está completamente desarrollada y la aceptación por los consumidores y costos de producción se deben considerar. Estos rubros quizás puedan compensarse con reducciones en el desperdicio de la carne, debido a la mejora de la calidad y la vida útil del producto. Se presenta una revisión de nanopartículas incorporadas a la carne para preservar su calidad e inocuidad principalmente.

Palabras clave: industria alimentaria, nanoenvases, antimicrobianos, antioxidantes

ABSTRACT

One of the main challenges of the meat industry is to guarantee salubriousness, innocuousness, and conservation. The technological innovations are centered on the use of inoculants that detect or protect the meat against pathogenic agents. The nanoparticles incorporated into the meat packages act like antimicrobial and antioxidant agents, representing a new generation in packaging. The silver, copper, gold, zinc ions, metal oxides (TiO_2 , ZnO , MgO), nanoclays, natural biopolymers, enzymes, and synthetic antimicrobial agents are the products most frequently researched. However, their legislation is not completely developed and the acceptance by consumers and production costs must be considered. These segments may be able to be compensated, with reductions in meat waste, due to improvement in the quality and shelf life of the product. A revision of nanoparticles incorporated into meat to preserve primarily their quality and innocuousness is presented.

Keywords: Food industry, nanopackaging, antimicrobial, antioxidant.

INTRODUCCIÓN

La industria de la carne se enfrenta cada día a nuevos retos de acuerdo con los requerimientos del consumidor; uno de los principales es la garantía en su sanidad, inocuidad y conservación, ya que es susceptible al deterioro por sus cualidades nutricionales, haciéndolo un alimento ideal para el desarrollo de microrganismos (Ercolini *et al.*, 2006; Villada *et al.*, 2007; Vásquez *et al.*, 2009). Por ello, es necesario buscar medidas innovadoras que permiten obtener un producto inocuo y en buen estado; una de ellas, y la más factible, son los empaques, los cuales tienen como función prioritaria la preservación y protección de la carne con la finalidad de mantener la calidad durante el almacenamiento y transporte para retrasar el deterioro y extender la vida útil (Villada *et al.*, 2007; Jong *et al.*, 2013; Inbaraj y Chen, 2016). En relación con lo anterior, las innovaciones tecnológicas que actualmente están surgiendo es la liberación programada de inoculantes que detectan o protegen la carne contra agentes patógenos (Xu *et al.*, 2013). La nanotecnología estudia el diseño de nanopartículas incorporadas en los empaques de la carne para actuar como antimicrobianos y antioxidantes (Foladori e Invernizzi, 2008). La utilización de esta tecnología se facilita con el uso de los nanocompuestos de matriz polimérica (Jong *et al.*, 2013); sin embargo, actualmente existe mucha incertidumbre con respecto a la utilización de nanopartículas en los empaques de la carne por situaciones de legislación, migración al alimento y miedo a afectar la salud por parte de las industrias y consumidores. La vida útil se define como el período de tiempo entre el envasado de un producto y su uso final, mientras que se mantengan las propiedades de la carne aceptable para el consumidor (Lorenzo y Gómez, 2012). Uno de los retos que enfrentan las empresas y los productores de la industria alimentaria es lograr una vida útil adecuada para sus productos, manteniendo la calidad óptima (nutricional, organoléptica) y la seguridad del alimento, al momento de que el consumidor compre el producto. Las propiedades de la vida útil de la carne incluyen la apariencia, textura, sabor, color y valor nutritivo (Lorenzo y Gómez, 2012). Sin embargo, el alto contenido de agua y abundancia de nutrientes en su superficie hace que sea uno de los alimentos más perecederos, provocando un deterioro en periodos cortos (Ercolini *et al.*, 2006; Villada *et al.*, 2007; Vásquez *et al.*, 2009). Por ello, uno de los principales factores que limitan la vida útil es el crecimiento de microorganismos (Mihindukulasuriya y Lim, 2014). El deterioro se caracteriza por cambios en el alimento que

lo hace inaceptable para el consumidor desde el punto de vista sensorial. Este causa daños físicos y químicos, tales como oxidación, cambios de color, presencia de malos sabores y olores, y crecimiento y metabolismo microbiano en el producto (Gram *et al.*, 2002). El deterioro de la carne no siempre es evidente; los consumidores notan este cambio cuando pueden apreciar una decoloración brusca, y cambio de apariencia o mal olor, que son criterios cualitativos para rechazar un producto cárnico. En general, el deterioro es un juicio subjetivo por parte del consumidor que puede estar influenciada por consideraciones culturales y económicas, así como por la agudeza sensorial de la persona y la intensidad del cambio (Nychas *et al.*, 2008). Para lograr un tiempo de conservación óptimo para los alimentos, el sector alimenticio explora continuamente diferentes tecnologías de formulación y elaboración de empaques (Mihindukulasuriya y Lim, 2014).

Los empaques en la vida de anaquel de la carne

Los envases o empaques tienen como función prioritaria la preservación y protección del alimento, con la finalidad de mantener la calidad y seguridad durante el almacenamiento y transporte, para retrasar el deterioro y extender la vida útil. Las nuevas tecnologías de conservación en la carne son debido a las demandas de los consumidores y a tendencias de producción industrial. El desarrollo de empaques activos o inteligentes ofrece la perspectiva de monitorear los cambios en el producto y responder adecuadamente a dichos cambios a través de un mecanismo de retroalimentación. Para ello será necesario el desarrollo de nuevas tecnologías; por ejemplo, sistemas electrónicos impresos con sensores o dispositivos que permiten la liberación o absorción de sustancias (Restuccia *et al.*, 2010; Vanderroost *et al.*, 2014). El envase activo es una extensión de la vida útil en la carne, mantiene su calidad (Taik, 2010) y está diseñado con un componente que permite la liberación o absorción de sustancias, tales como oxígeno, dióxido de carbono, etileno, humedad, antioxidante y antimicrobianos; así como olores y sabores. El propósito de los envases inteligentes es proporcionar información mediante el monitoreo sobre la frescura de la carne a través de los cambios que sufre el producto. Las sustancias responsables de la activación o función de los envases inteligentes puede estar contenido en un recipiente separado en una bolsita de papel, o las sustancias pueden ser directamente incorporadas en el material del empaque. Existen tres tecnologías principales para la realización de envases inteligentes: sensores, indicadores, e identificación

(Restuccia *et al.*, 2010; Camacho *et al.*, 2011; Vanderroost *et al.*, 2014). El sistema de envasado activo debe ser dirigido a la mejora de la calidad y la extensión de la vida útil de los alimentos, y se puede clasificar en tres conceptos: la incorporación directa de las sustancias activas en la película de envasado; películas comestibles y recubrimiento con sustancias bioactivas, e incorporación de sustancias activas en una bolsita, parche o tableta. Los más comunes y prometedores son los sistemas antimicrobianos de envasado, de eliminación de O₂, y de control de la humedad, que ofrecen importantes beneficios a la industria de la carne. A continuación se explican en detalle:

Incorporación directa de las sustancias activas en la película de envasado: se pueden integrar agentes antimicrobianos, dado que la industria de la carne ha tratado de utilizar diferentes sistemas de conservación para reducir al mínimo el riesgo de intoxicación y el deterioro.

Películas comestibles y recubrimiento con sustancias bioactivas: en películas comestibles, diversos aditivos alimentarios, tales como conservadores, antioxidantes y condimentos, se pueden utilizar para mejorar la calidad y la vida útil de los alimentos. Entre los materiales utilizados para formar películas comestibles está el quitosano, considerado uno de los más prometedores, debido a su capacidad para formar película, biodegradabilidad, biocompatibilidad y no tóxica (Shavisi *et al.*, 2017). Otro es el ácido poli-láctico, el cual es un bio-plástico producido de la polimerización del ácido láctico y aprobado por la US Food and Drug Administration (USDA); su uso en el empaque de carne es acepta-

do por su transparencia, degradabilidad y nula toxicidad. Su impregnación con nanopartículas de celulosa y aceite de *Ziziphora clinopodioides* han prolongado la vida de anaquel en carne de bovino (Shavisi *et al.*, 2017).

Incorporación de sustancias activas en una bolsita, parche o tableta: la atmósfera ambiental dentro del envase se puede cambiar mediante la incorporación de sustancias activas en el empaque utilizando una bolsita, parche o tableta. Las principales tecnologías para mejorar la calidad y la vida útil de los productos cárnicos son eliminación de O₂, generadores de CO₂ y controladores de humedad (Taik, 2010).

La nanoencapsulación

De las innovaciones tecnológicas que están surgiendo actualmente para hacer frente a la inocuidad y seguridad alimentaria, con la finalidad de poder extender la vida útil de los productos, está la encapsulación, la cual se refiere a pequeñas partículas o gotitas que rodean una capa funcional (Xu *et al.*, 2013). Actualmente existen en el mercado diversos ingredientes activos nanoencapsulados (colocación de ingredientes activos dentro de capsulas nanoscópicas); por ejemplo, vitaminas, conservadores y ácidos grasos que se utilizan para el procesamiento y la conservación de bebidas, carnes y quesos. A muchos alimentos se les agregan nanopartículas deliberadamente, con el fin de mejorar sus propiedades de color y estabilidad durante el procesamiento, o bien, aumentar el tiempo de conservación (Foladori e Invernizzi, 2008). Las nanopartículas (1 a 100 nm) se están estudiando en procesos de envasado de la carne y se relacionan con aspectos mi-

crobiológicos, sensores y películas del empaque (Siegrist *et al.*, 2007; Duncan, 2011; Inbaraj y Chen 2016). La innovación promete opciones de actividades antimicrobianas, superficies antifúngicas, detección de señalización microbiológica y cambios bioquímicos. Los desarrollos más prometedores lanzados en el mercado hasta la fecha son susceptibles de mejorar la calidad y la vida útil de la carne y productos cárnicos de manera significativa mediante la mejora de las propiedades de barrera con la incorporación de nanocompuestos bioactivos en o sobre la película (nanocompuesto) (Taik, 2010). Sin lugar a dudas es el área más activa de investigación alimentaria por el hecho de que el consumidor está más dispuesto a aceptar la nanotecnología sin que esté estrechamente relacionada con los alimentos que consume.

Nano-empaques: es vital realizar un empaque adecuado de la carne para que se garantice la seguridad alimentaria y la vida útil. El interés de la mejora en los empaques en los últimos años ha ido en aumento, de tal forma que se puedan satisfacer las demandas del producto y los consumidores; por ello, una posible solución es la incorporación de nanopartículas en materiales del empaque "nano envasado de alimentos" (Jong *et al.*, 2013). Dado que uno de los fines principales es lograr un tiempo de conservación más largo a través de la mejora de las funciones de barrera del material utilizado, a fin de reducir el intercambio de gases y humedad, y la exposición a los rayos ultravioletas por mencionar algunos, la mejora de la película de envasado (barrera) se puede diseñar con nanomateriales que permitan la liberación de agentes antimicrobianos,

antioxidantes, enzimas y sabores (Foladori e Invernizzi, 2008). La utilización de esta innovadora tecnología puede ser conveniente y factible debido a que los nanocompuestos se incorporan en la matriz polimérica, como se mencionó en el capítulo anterior, la cual ocupa una amplia área superficial del empaque y mayor reactividad de la superficie del agente antimicrobiano con tamaño nanométrico, teniendo la capacidad de inactivar los microorganismos (Jong *et al.*, 2013). La incorporación de nanopartículas con propiedades antimicrobianas representa una nueva generación en los envases de la carne, basados en nanocompuestos con propiedades antimicrobianas; estos incluyen iones de plata, cobre, oro, zinc, óxidos de metal (TiO_2 , ZnO , MgO), nanoarcilla orgánicamente modificada (amonio cuaternario modificado MMT, Ag-zeolita), biopolímeros naturales (quitosano), agentes antimicrobianos naturales (nisina, timol, carvacrol, isotiocianato, antibióticos), enzimas (peroxidasa, lisozima) y agentes antimicrobianos sintéticos (amonio cuaternario sales, EDTA, propiónico, benzoico, ácidos sórbico) (Jong *et al.*, 2013; Chellaram *et al.*, 2014; Panea *et al.*, 2014), de los cuales a continuación se detallan algunos principales:

Plata: La plata tiene una amplia actividad antimicrobiana; es tóxica a numerosas cepas de bacterias, hongos, algas y, posiblemente, a algunos virus (Duncan, 2011). Varios estudios han demostrado la actividad antimicrobiana de las nanopartículas de plata que son eficaces contra bacterias Gram-positivas y negativas (Mihindukulasuriya y Lim, 2014). Actualmente es el metal utilizado más comúnmente en los productos de consumo, tal como el envasado de la carne, ya que partículas de plata de tamaño nanométrico se están inmovilizando en polímeros de envasado de alimentos denominadas nanopartículas. Su utilización se debe a su propiedad eléctrica y catalítica, así como a su estabilidad térmica, aunque el efecto antimicrobiano es la propiedad que tiene más relevancia en mejorar la vida útil de la carne. Los iones de plata (nanopartículas) pueden penetrar en las membranas exterior e interior de la célula, alterando sus componentes de barrera, como los lipopolisacáridos y proteínas. También interactúan con los componentes citoplasmáticos y ácidos nucleicos, lo que altera la actividad enzimática (procesos de activación de la replicación del ADN y proteínas celulares) después de la quelatación, causando cambios estructurales y la alteración de las paredes celulares en la membrana de las bacterias, interrumpiendo con ello los procesos metabólicos y finalizando en muerte celular (Carbone *et al.*, 2016). Las nanopartículas de plata inhiben las enzimas de la cadena respiratoria y dificultan la penetración de protones y fosfato a través de la membrana y reducción de los niveles de ATP. Además de estas funciones inhibitorias, la alta actividad catalítica de las nanopartículas puede producir especies reactivas de oxígeno, resultando en estrés oxidativo y condiciones tóxicas dentro de las células microbianas; sin embargo, una desventaja es la incertidumbre por parte de los expertos acerca de si las partículas de plata pueden migrar desde el material de empaque a la carne (Siegrist *et al.*, 2007; Llorens *et al.*, 2012; Jong *et al.*, 2013; Mihindukulasuriya y Lim, 2014), aunque un estudio menciona que las nanopartículas de plata se pueden elaborar de rutas verdes (sin daño ambiental), utilizando dosis de $5.3 \text{ ngAgNPs g}^{-1}$ carne en la película, sin provocar daños a la salud humana e inhibiendo el crecimiento de bacterias ácido lácticas por 30 días (Grecco *et al.*, 2017).

La plata puede ser integrada en materiales inertes, tales como la zeolita, silicato y arcilla. La zeolita de plata (Ag-zeolita) es producida por la sustitución de los iones Na^+ en la zeolita con iones Ag^+ ; es uno de los agentes antimicrobianos más ampliamente utilizados, ya que es de amplio espectro antimicrobiano, eliminando bacterias, levaduras, y micelios, pero no así las esporas de las bacterias resistentes al calor. El Ag-zeolita incorporado a la película de quitosano ha mostrado fuerte actividad antimicrobiana contra las bacterias Gram-positivas y negativas. También se han producido nanocompuestos de silicato de plata, utilizando un proceso de pirólisis de aspersión por llama e incorporado en poliestireno. Este complejo mostró buena actividad antibacteriana contra *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*. Un enfoque sintético verde para la preparación de nanopartículas de plata antimicrobiano ha sugerido, mediante el uso de hidratos de carbono a partir de sacarosa, almidón de maíz ceroso y soluble (*Zea mays* L.). Los hidratos de carbono actúan como agentes reductores y estabilizantes, y también como una plantilla para la realización de las nanopartículas de plata con una excelente actividad antibacteriana. Nanopartículas de quitosano cargadas con Ag^+ , Cu^{2+} , Zn^{2+} y Mn^{2+} mostraron actividad antimicrobiana contra *E. coli*, *Salmonella choleraesuis* y *S. aureus* (Jong *et al.*, 2013).

Óxidos de metal: El TiO_2 , ZnO y MgO también han sido explotados para la preparación de películas de envasado antimicrobianas debido a su fuerte actividad antimicrobiana. Esencialmente estos óxidos metálicos se utilizan como fotocatalizadores que derivan de actividad

catalítica mediante la absorción de energía de una fuente de luz. Cuando el fotocatalizador se aplica con radiación ultravioleta, las especies de oxígeno altamente reactivas se generan y causan actividad antimicrobiana (Jong *et al.*, 2013). La viabilidad del óxido de zinc (ZnO) incorporado en nanocompuestos poliméricos destinados para el envasado de alimentos, distribuida en películas de quitosano (Llorens *et al.*, 2012) o películas de polietileno en una proporción 50/50, pueden prevenir el crecimiento de *E. Coli* (Marcous *et al.*, 2017). El uso de ZnO en el sistema de envasado es debido a su factible incorporación, por ser considerado seguro para la FDA. El uso de la película activa basada en alginato de calcio con nanopartículas de ZnO fue eficaz contra las bacterias de *S. aureus* y *S. typhimurium*. Se observó que las nanopartículas de ZnO interactúan con las bacterias con el paso del tiempo (10 días de período de incubación) y reduce su número en la carne de pollo. Los materiales del envasado permiten la difusión gradual de los antimicrobianos incorporados en la superficie de la carne empacada (Akbar y Kumar, 2014). Existen estudios donde se han evaluado las propiedades antibacterianas y físicas del policloruro de vinilo (PVC) recubierto con película a base de nanopartículas de ZnO, registrando mejor actividad antibacteriana contra *E. coli* y *Staphylococcus aureus*, en comparación con las películas no tratadas, por lo que la película de PVC recubierto con nano-partículas de ZnO tiene un buen potencial para ser utilizado como un sistema de recubrimiento activo para el envasado de alimentos (Li *et al.*, 2010). Las nanopartículas de ZnO producen radicales hidroxilo, superóxidos y peróxidos de hidrogeno en presencia

de humedad que reacciona con la superficie celular de las bacterias y causa daño al contenido celular a nivel de proteína, lípidos y ADN (Akbar y Kumar, 2014). La utilización de la nanopartículas puede afectar la calidad de la carne, especialmente su color y la oxidación de grasas (problemas de sabor). Panea *et al.* (2014) estudiaron la combinación de nanopartículas de ZnO+Ag en el envasado para ver el potencial antimicrobiano y su influencia en la vida de anaquel, así como también la calidad de la carne de pollo (pechuga), reportando que la adición de nanopartículas retrasó el deterioro y oxidación de la carne; afectando ligeramente los atributos sensoriales. La producción industrial de embutidos y carnes curadas requiere del agregado de numerosos aditivos para acelerar el proceso de producción como la estabilización del color y mejora del sabor. Por ello, la compañía alemana Aquanova desarrolló un sistema portador nanotecnológico que consiste en micelas de 30 nm en las que se encapsulan ingredientes activos como vitaminas C, E y ácidos grasos que pueden emplearse como conservadores y coadyuvantes de elaboración. Tal es el caso de las salchichas, como una solución para el curado de carne y la estabilización del color. Aquanova comercializa sus micelas con el nombre de "NovaSol". La revista industrial alemana "*Fleischwirtschaft*" asegura que NovaSol ofrece ventajas significativas para las empresas procesadoras de carne. Acelera los tiempos de procesamiento; reduce los costos de los insumos, logra mayor estabilidad en el color del producto y está disponible en presentación líquida lista para usarse (Foladori y Invernizzi, 2008).

Nano-sensores: Los sensores químicos han recibido cada vez más atención en los dos últimos años para monitorear la calidad del alimento y la integridad del envase (Vanderroost *et al.*, 2014). Los dispositivos que se utilizan para detectar la cantidad física de las sustancias se convierten en señales legibles observadas. El uso de sensores inteligentes es beneficioso para los consumidores y productores en términos de mejorar la identificación de la calidad y rápida distribución (Chellaram *et al.*, 2014; Vanderroost *et al.*, 2014). El indicador o sensor fabricado con la nanotecnología adecuada puede interactuar con factores internos (componentes de los alimentos y espacio del empaque) o ambientales externos. Como resultado de esta interacción, el sensor genera una respuesta (señal visual o señal eléctrica) que se correlaciona con el estado del alimento. La información que genera no solo es útil para la comunicación con los consumidores, al informarles acerca de la seguridad y calidad de los productos, sino que también pueden ser utilizados para los productores en sus sistemas de apoyo para la toma de decisiones en el canal de distribución del producto y el proceso de producción (Chellaram *et al.*, 2014; Mihindukulasuriya y Lim, 2014). Los productos frescos o las carnes presentan características que pueden ser fácilmente distinguidas por los consumidores (Charles *et al.*, 2006; Sánchez *et al.*, 2008; Troy y Kerry, 2010). Sin embargo, cuando los materiales de envasado impiden una amplia exposición sensorial, los consumidores deben confiar en las fechas de caducidad, que son determinadas por los productores sobre la base de un conjunto de suposiciones idealizadas sobre la forma en que el alimento se almacena o transporta, mientras que la fecha de caducidad para un cartón de leche puede indicar a un consumidor que el producto debe ser bueno para un período de dos semanas. Esta fecha ya no puede ser aplicable si la leche se almacenó por encima de su temperatura óptima durante una hora; lo mismo

sucedría para cualquier alimento como la carne. Por ello, a través de la ingeniería, los nanomateriales pueden ser ideados para que sean capaces de detectar la presencia de gases, aromas, contaminantes químicos y patógenos. Esto no solo es útil para el control de la calidad, en lo que respecta a garantizar a los consumidores que pueden comprar productos que están en su punto ideal de frescura y sabor, sino también tiene el potencial de mejorar la seguridad alimentaria y reducir la frecuencia de las enfermedades transmitidas por los alimentos. Los nano-sensores tienen el potencial de revolucionar la velocidad y la precisión con la que las industrias o los organismos reguladores pueden detectar la presencia de contaminantes moleculares o adulterantes en matrices alimentarias complejas.

Electrónica impresa: Es una tecnología actualmente emergente y relativamente nueva que se espera revolucione la producción de dispositivos electrónicos (etiquetas, pantallas, sensores, baterías.) Esta tecnología se da sobre sustratos flexibles (poliimida, PEEK, PET, poliéster conductor transparente, acero e incluso papel), utilizando tintas eléctricamente funcionales. El mercado de dispositivos flexibles (electrónica impresa) está creciendo rápidamente; en 2011 se estimaba en más de USD\$ 2 mil millones y un aumento en el mercado de USD\$ 45 mil millones para 2021 (Vanderroost *et al.*, 2014).

Detector de oxígeno: Una de las medidas que se deben tomar para mantener una calidad higiénica de la carne es la regulación de la permeabilidad de los gases como el oxígeno. En el envase de atmósfera modificada, la concentración de oxígeno en la parte superior del empaque se reduce a menudo a un nivel óptimo o eliminándolo totalmente, dependiendo del tipo de producto para extender la vida útil. Con el fin de validarlo se utiliza un indicador de oxígeno, el cual activa el UV que se fabrica utilizando nanopartículas de TiO_2 , dado que la entrada de oxígeno en paquete de alimentos puede conducir a una reducción de vida útil del producto, ya que diversas reacciones de degradación (rancidez, crecimiento de microorganismos aerobios, color, sabor) inducen pérdida de nutrientes (agotamiento de vitaminas) (Taik, 2010; Flores *et al.*, 2011; Jong *et al.*, 2013; Mihindukulasuriya y Lim, 2014). Por ello, actualmente se están ideando métodos de detección basados con nanosensores; por ejemplo, una tinta prometidora fotoactivada para la detección de oxígeno en paquetes de carne sobre la base de tamaño nanométrico de partículas de TiO_2 o SnO_2 y un tinte (azul de metile-

no) redox-activo; este detector cambia gradualmente de color en respuesta incluso a cantidades mínimas de oxígeno (Duncan, 2011).

Detector de aminos y bacterias: estos indicadores de frescura proporcionan información en tiempo real al productor, distribuidor y consumidor sobre la calidad del producto durante el almacenamiento y distribución, y se basan en la detección de compuestos de descomposición y metabolitos microbianos, producido en un producto en mal estado, tales como las aminos (Mihindukulasuriya y Lim, 2014), que se usan como un indicador del deterioro de la carne y, por lo tanto, de la calidad (Tamim y Doerr, 2003). Los métodos de detección biológica se basan en pruebas inmunológicas por las interacciones selectivas antígeno-anticuerpo. Una técnica conocida como separación inmunomagnética utiliza partículas magnéticas unidas a anticuerpos selectivos en combinación con un imán, para separar selectivamente el analito a partir de la matriz del alimento, es decir, partículas magnéticas a nanoescala. Por ejemplo, la unión de anticuerpos selectivos para *L. monocytogenes* en las nanopartículas magnéticas de óxido de hierro se utilizan para separar eficientemente las bacterias de la leche contaminada y detectarlos mediante análisis de PCR en tiempo real. Un enfoque similar se ha utilizado para aislar *E. coli* en carne de vacuno recién molida, con más de 94 % de eficiencia de captura y sin interferencia de otras especies bacterianas. Sin embargo, la mayor parte del trabajo en nanosensores o ensayos para analitos relacionados con los alimentos es evaluar dosis óptimas para prevenir daños colaterales y signos de toxicidad en humanos (Carbone *et al.*, 2016).

Nano-antioxidantes: Existen estudios donde se ha evaluado la eficacia de la actividad antioxidante *in vitro* del β -caroteno y ácido α -lipoico en conjugación con un lípido encapsulado. Esta actividad fue determinada por la actividad captadora de radicales en estado libre. Cabe señalar que la nano emulsión se preparó y liofilizó para obtener nanocápsulas de un tamaño de partícula de 320.8 ± 1.48 nm para el ácido α -lipoico y 210.5 ± 1.23 nm para el β -caroteno, teniendo como conclusión que la utilidad de la adición de antioxidantes durante la encapsulación y que la actividad de eliminación de radicales fue directamente proporcional a la concentración del antioxidante (Sen y Ghosh, 2012). Por ello, la nanotecnología puede ser buena alternativa para evitar la auto-oxidación de ácidos grasos poliinsaturados de algunos alimentos (Xu *et al.*, 2013).

Perspectivas y preocupaciones de los nanoencapsulados en los alimentos

Legislación: Este aspecto aún no está completamente desarrollada en el uso de nanopartículas (Llorens *et al.*, 2012). La ley de regulación europea señala que es necesario investigar la migración global de compuestos de envases activos e inteligentes para la comida. Los niveles máximos de las nanopartículas que se pueden presentar en la comida son establecidos por la ley europea y las regulaciones de la FDA; sin embargo, las metodologías inequívocas para detectar y cuantificar la migración de nanomateriales en envases actualmente es limitada y no hay regulación (Mihindukulasuriya y Lim, 2014).

Migración hacia el alimento: La nanotecnología ocupa un espacio entre la evolución de materiales de envasados activos e inteligentes. Sin embargo, su uso en los alimentos ha sido motivo de preocupación, debido al riesgo de que los nanomateriales pudieran ser perjudiciales para la salud. Es decir, que los componentes de tamaño nanométrico migren hacia la comida y potencialmente puedan dar lugar a efectos adversos (Taik, 2010; Jong *et al.*, 2013; Panea *et al.*, 2014). Los estudios han puesto de manifiesto que algunas nanopartículas pueden provocar daños intracelulares, vascular e inflamación pulmonar (Mihindukulasuriya y Lim, 2014). Al respecto, existe incertidumbre sobre la evaluación de los riesgos de los nanomateriales, debido a poca información y base de datos sobre la toxicidad de los nanomateriales y su exposición a los consumidores. Un estudio llevado a cabo en el Laboratorio Central de Ciencias en el Reino Unido reporta que no se

detectó migración de los componentes de las nanopartículas de arcilla de envases de PETP (Taik, 2010). Es necesaria más investigación con respecto a la migración de los nanocompuestos en los envases destinados al alimento y que se consideren las regulaciones de los riesgos potenciales asociados a la nano-dimensiones y la posible migración en los alimentos o bebidas (Llorens *et al.*, 2012).

Aceptación por parte de los consumidores: La aceptación de los consumidores a nuevas tecnologías de conservación se debe tener en cuenta. Esto debido a que ellos pueden tener cierto rechazo y aceptación de las nuevas nanotecnologías, a pesar de que pueden ayudar a mejorar la seguridad y calidad de los productos alimenticios.

Rentabilidad: El otro problema asociado al desarrollo biotecnológico en el sistema de envases inteligentes y activos es la rentabilidad, dado que la incorporación de nanocompuestos a los envases probablemente aumente el costo por empaque, especialmente durante la primera fase de introducción del producto. El margen de beneficio de los alimentos es relativamente bajo en comparación con otros productos de consumo. El costo total de los envases debe ser de 10 % del costo del producto. Por lo tanto, la adaptación de la nanotecnología debe basarse en una adecuada relación costo-beneficio para justificar su aplicación (Restuccia *et al.*, 2010). El uso de esta tecnología probablemente sea restringida para la pequeña y medianas empresas por representar un costo más, sin embargo, los aumentos en costos de producción pueden compensarse con las reducciones en el desperdicio, debido a la mejora de la calidad y vida útil del producto (Taik, 2010).

CONCLUSIONES

La biotecnología en alargar la vida útil de la carne puede ser una herramienta para superar los retos que se presentarán en el futuro de la industria alimentaria. Sin embargo, el campo más estudiado y aceptado por el consumidor, debido a que los nanocompuestos no están en contacto directo al alimento, son los empaques, pero la información en relación con la migración de los nanocompuestos hacia el alimento y sus efectos en la salud del consumidor aun es escasa, por lo que es necesario seguir investigando.

LITERATURA CITADA

- Akbar A., Kumar A.A. 2014. Zinc oxide nanoparticles loaded active packaging, a challenge study against *Salmonella typhimurium* and *Staphylococcus aureus* in ready-to-eat poultry meat. *Food Control*, 38: 88-95.
- Camacho M.E., Vega B.J., Campos G.A. 2011. Uso de nanomateriales en polímeros para la obtención de bioempaques en aplicaciones alimentarias. *Revista de la Sociedad Química del Perú* 77: 292-306.
- Carbone M., Tommasa D.D., Sabbatella G., Antiochia R. 2016. Silver nanoparticles in polymeric matrices for fresh food packaging. Review. *Journal of King Saud University Science* 28: 273-279.
- Charles N., Williams S.K., Rodrick G.E. 2006. Effects of Packaging Systems on the Natural Microflora and Acceptability of Chicken Breast Meat. *Poultry Science* 85: 1798-1801.
- Chellaram C., Murugaboopathi G., Johna A.A., Sivakumar R., Ganesan S., Krithika S., Priya G. 2014. Significance of Nanotechnology in Food Industry. *APCBEE Procedia*, 8: 109-113.

- Duncan T.V. 2011. Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors. *Journal of Colloid and Interface Science*. 363: 1-24.
- Ercolini D., Russo F., Torrieri E., Masi P., Villani F. 2006. Changes in the Spoilage-Related Microbiota of Beef during Refrigerated Storage under Different Packaging Conditions. *Applied and Environmental Microbiology* 72: 4663-467.
- Foladori G., Invernizzi N. 2008. Nanotecnologías en la Alimentación y Agricultura. Universidad de la República de Montevideo, Uruguay.
- García M.J.A. 2010. Tendencias en la Investigación en Ciencia de la Carne. *NACAMEH*. 4: 512-521.
- Gram L., Ravn L., Rasch M., Bartholin B. J., Christensen A B., Givskov M. 2002. Food spoilage-interactions between food spoilage bacteria. *International Journal of Food Microbiology* 78: 79-97.
- Grecco M.N., Jorge M.I., Cristine K.K, Franco L.G., de Oliveira PA., Aparecida D.A., Bracht, L.O., Gonçalves, H., Vitória L.F. 2017. Migration evaluation of silver nanoparticles from antimicrobial edible coating to sausages. *LWT. Food Science and Technology* 76B: 203-228.
- Inbaraj B.S., Chen, B.H. 2016. Nanomaterial-based sensors for detection of foodborne bacterial pathogens and toxins as well as pork adulteration in meat products. *Journal of Food and Drug Analysis* 24: 15-28.
- Jong W.R., Hwan M.P., Chang S.H. 2013. Bio-nanocomposites for food packaging applications. *Progress in Polymer Science*, 38: 1629-1652.
- Li X.H., Xing Y.G., Li W.L., Jiang Y.H., Ding Y.L. 2010. Antibacterial and physical properties of poly (vinyl chloride)-based film coated with ZnO nanoparticles. *Food Science and Technology International* 16: 225-232.
- Lorenzo J.M., Gómez M. 2012. Shelf life of fresh foal meat under MAP, overwrap and vacuum packaging conditions. *Meat Science* 92: 610-618.
- Llorens A., Lloret E., Picouet P.A., Trbojevič R., Fernandez A. 2012. Metallic-based micro and nanocomposites in food contact materials and active food packaging. *Trends in Food Science and Technology*, 24: 19-29.
- Marcous A., Rasouli S., Ardestani F. 2017. Low-density polyethylene films loaded by titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles as a new active packaging system against *Escherichia coli* O157:H7 in fresh calf minced meat. *Pack. Technol. Sci.* 10.1002/pts.
- Mihindukulasuriya S.D.F., Lim L.T. 2014. Nanotechnology development in food packaging: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 40: 149-167.
- Nychas G.J.E., Skandamis P.N., Tassou C.C., Koutsoumanis K.P. 2008. Meat spoilage during distribution. *Meat Science*, 78: 77- 89.
- Panea B., Ripoll G., González J., Fernández C.A., Alberti P. 2014. Effect of nanocomposite packaging containing different proportions of ZnO and Ag on chicken breast meat quality. *Journal of Food Engineering* 123: 104-112.
- Restuccia D., Spizzirri U.G., Parisi O.I., Cirillo G., Curcio M., Lemma F., Puoci F., Vinci G., Picci N. 2010. New EU regulation aspects and global market of active and intelligent packaging for food industry applications. *Food Control* 21: 1425 -1435.
- Shavisi N., Khanjari A., Akhondzadeh B.A., Misaghi A., Shahbazi Y. 2017. Effect of PLA films containing propolis ethanolic extract, cellulose nanoparticle and *Ziziphora clinopodioides* essential oil on chemical, microbial and sensory properties of minced beef. *Meat Science* 124: 95-104.
- Sánchez E. A., Torrecano U. G. R., Camou A. J. P., González M. N. F., Hernández W. G. 2008. Sistemas combinados de conservación para prolongar la vida útil de la carne y los productos cárnicos. *NACAMEH* 2: 124-159.
- Sen G. S., Ghosh M. 2012. *In vitro* study of anti-oxidative effects of β -carotene and α -lipoic acid for nanocapsulated lipids. *LWT-Food Science and Technology*. 49: 131-138.
- Siegrist M., Cousin M.E., Kastenholz H., Wied A. 2007. Public acceptance of nanotechnology foods and food packaging: The influence of affect and trust. *Appetite* 49: 459-466.
- Tamin N.M., Doerr J.A. 2003. Effect of Putrefaction of Poultry Carcasses Prior to Rendering on Biogenic Amine Production. *Poultry Science* 12: 456-460.
- Troy D.J., Kerry J.P. 2010. Consumer perception and the role of science in the meat industry. *Meat Science* 86: 214-226.
- Vanderroost M., Ragaerta P., Devlieghere F., De Meulenae B. 2014. Intelligent food packaging: The next generation. *Trends in Food Science and Technology*, 39: 47-62.
- Vásquez M.S.M., Suárez M.H., Montoya O.I. 2009. Evaluación de bacteriocinas como medio protector para la biopreservación de la carne bajo refrigeración. *Revista Chilena de Nutrición*, 36: 228-238.
- Villada S.H., Acosta H.A., Velasco R.J. 2007. Biopolímeros naturales usados en empaques biodegradables. *Temas Agrarios* 12: 5-13.
- Xu J., Zhao W., Ning Y., Bashari M., Wu F., Chen H., Yang N. Jin Z., Xu B., Zhang L., Xu X. 2013. Improved stability and controlled release of ω 3/ ω 6 polyunsaturated fatty acids by spring dextrin encapsulation. *Carbohydrate Polymers* 92: 1633-1640.